

# SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

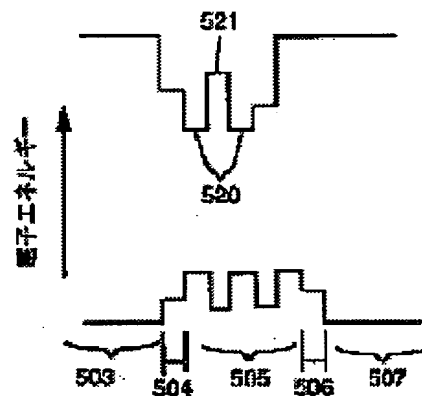
Patent number: JP11112087  
Publication date: 1999-04-23  
Inventor: MATSUMOTO AKIHIRO  
Applicant: SHARP KK  
Classification:  
- international: H01S3/18  
- european:  
Application number: JP19970273163 19971006  
Priority number(s): JP19970273163 19971006

[Report a data error here](#)

## Abstract of JP11112087

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor layer element wherein a threshold value current is reduced with no increased operation voltage, while oscillation wavelength deviation is prevented.

**SOLUTION:** Relating to a semiconductor layer element wherein a first guide layer 104 and a second guide layer 106 are provided with an active layer 105 of multiplex quantum well structure in between, the first guide layer 104 and the second guide layer 106 are adjoined to a quantum well layer 120, and the forbidden band width of the first guide layer 104 and the second guide layer 106 is wider than that of the quantum well layer 120, while at least one forbidden band width of the first guide layer 104 and the second guide layer 106 is narrower than that of a quantum barrier layer 121.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-112087

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月23日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H01S 3/18

識別記号

F I

H01S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平9-273163

(22) 出願日 平成9年(1997)10月6日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 松本 晃広

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

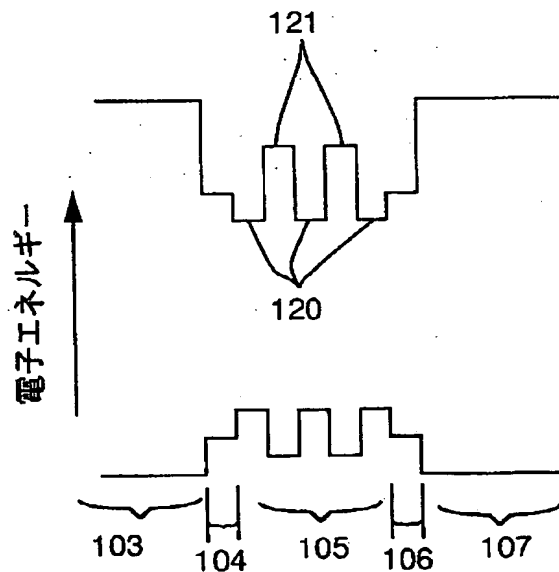
(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【課題】 動作電圧の増大を伴わずに閾値電流を低減することが可能な半導体レーザ素子を提供する。また、発振波長ずれを併せて防止することも可能とする。

【解決手段】 多重量子井戸構造の活性層105を挟んで、第1ガイド層104及び第2ガイド層106が設けられた半導体レーザ素子において、第1ガイド層104及び第2ガイド層106を量子井戸層120に隣接させると共に第1ガイド層104及び第2ガイド層106の禁制帯幅を量子井戸層120の禁制帯幅より大きくし、且つ、第1ガイド層104及び第2ガイド層106の少なくとも一方の禁制帯幅を量子障壁層121の禁制帯幅よりも小さくする構成とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の量子井戸層と、該複数の量子井戸層で挟まれた量子障壁層とからなる多重量子井戸構造の活性層を挟んで、第1ガイド層及び第2ガイド層が設けられた半導体レーザ素子であって、

該第1ガイド層及び該第2ガイド層を該量子井戸層に隣接させると共に該第1ガイド層及び該第2ガイド層の禁制帯幅を該量子井戸層の禁制帯幅より大きくし、且つ、該第1ガイド層及び該第2ガイド層の少なくとも一方の禁制帯幅を該量子障壁層の禁制帯幅よりも小さくした半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記第1ガイド層及び前記第2ガイド層を挟むように第1導電型の第1クラッド層と第2導電型の第2クラッド層が設けられ、該第1クラッド層と該第2クラッド層との間に前記活性層のレーザ発振光のエネルギーと略等しい発光エネルギーを有する可飽和吸収層を設けた請求項1記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記第1ガイド層及び前記第2ガイド層を挟むように第1導電型の第1クラッド層と第2導電型の第2クラッド層が設けられ、該第2クラッド層の外側であって該第1クラッド層と反対側の位置に第2導電型の第3クラッド層が設けられ、該第1クラッド層と該第3クラッド層との間に前記活性層のレーザ発振光のエネルギーと略等しい発光エネルギーを有する可飽和吸収層を設けた請求項1記載の半導体レーザ素子。

$$E_{\lambda} + 100 \text{ meV} \leq E_g \leq E_b - 50 \text{ meV} \cdots (2)$$

請求項6記載の半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ディスク、レーザビームプリンタ及び光伝送等の分野において光源として用いられる半導体レーザ素子に関し、特に多重量子井戸構造の活性層を有する半導体レーザ素子の構造に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体レーザ素子の低電流化のために、例えば、特公平4-67354号公報には、活性層に電子のドブロイ波長以下の層厚、即ち、約20nm以下の量子井戸層を多重に設けた多重量子井戸(MQW: Multiple Quantum Well)活性層を用いることが記載されている。

【0003】図13に示すように、この半導体レーザ素子は、n-GaAs基板701上に、n-GaAsバッファ層702、n-AlGaAsクラッド層703、n-AlGaAsガイド層704、MQW活性層705、p-AlGaAsガイド層706、p-AlGaAsクラッド層707及びp-GaAsキャップ層708が順次積層された構造を有する。

【0004】ここで、MQW活性層705は、複数のGaAs量子井戸層710と、量子井戸層710で挟まれ

\*【請求項4】 前記第1ガイド層及び前記第2ガイド層を挟むように第1導電型の第1クラッド層と第2導電型の第2クラッド層が設けられ、該第2クラッド層の外側であって該第1クラッド層と反対側の位置に第2導電型の第3クラッド層がストライプ状に形成され、ストライプ内部の活性層に閉じ込められた光の屈折率 $n_a$ とストライプ外部の活性層に閉じ込められた光の屈折率 $n_b$ との差 $\Delta n$ が下記(1)式の条件を満たす

$$2 \times 10^{-3} \leq \Delta n \leq 7 \times 10^{-3} \cdots (1)$$

請求項1又は請求項3記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記第2導電型の第2クラッド層がp型クラッド層であり、前記第2ガイド層が該p型クラッド層側に位置し、該第2ガイド層の禁制帯幅を前記量子障壁層の禁制帯幅よりも小さくした請求項1～請求項4のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 前記第1ガイド層又は前記第2ガイド層の禁制帯幅の内、小さい方の禁制帯幅を前記活性層のレーザ発振光のエネルギーに相当する禁制帯幅より大きくした請求項1～請求項5のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 前記第1ガイド層又は前記第2ガイド層の禁制帯幅の内、小さい方の禁制帯幅を $E_g$ 、前記量子障壁層の禁制帯幅を $E_b$ 、前記活性層のレーザ発振光のエネルギーに相当する禁制帯幅を $E_{\lambda}$ とした場合に、 $E_g$ 、 $E_b$ 及び $E_{\lambda}$ が下記(2)式の条件を満たす

※たAlGaAs量子障壁層711とからなり、この量子井戸層3層と量子障壁層2層による交互の繰り返しにより構成されている。

【0005】図14は、このMQW活性層705付近における各層のエネルギーバンドダイアグラムである。n-AlGaAsガイド層704及びp-AlGaAsガイド層706の禁制帯幅は共に量子障壁層711の禁制帯幅と等しく設定されている。ガイド層704、706の禁制帯幅と量子障壁層711の禁制帯幅を等しくすることにより、量子井戸層710は全て同じ禁制帯幅の半導体層で挟まれるので、量子井戸層710間で量子化準位の広がりは小さくなり、発光スペクトルが狭くなることにより、閾値電流の低減が可能となる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、最近の半導体レーザ素子においては、閾値電流のさらなる低減が要求されており、上記の従来例で閾値電流をさらに低減せんとすれば、MQW活性層の量子井戸層への光の閉じ込め率を増大させる必要がある。従って、従来例ではガイド層の層厚を厚くしていた。

【0007】しかし、ガイド層の層厚を厚くすると次に述べる問題が発生する。

【0008】一般に、ガイド層のドーパント濃度は、ガイド層からMQW活性層へのドーパント拡散を抑制する

ために、通常、クラッド層のドーパント濃度よりかなり低く設定するか、又はノンドーパに設定する。そのために、ガイド層を厚くすると、ガイド層における素子抵抗の増大の影響で、動作電圧が増大する。従って、従来例では、閾値電流を低減できるものの、動作電圧の増大による特性悪化という新たな問題が生じていた。

【0009】また、この従来例では、ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅と等しく設定している。このことは、ガイド層のA1組成比を量子障壁層のA1組成比と同じまで高く設定することに相当する。従って、この場合には、クラッド層からのドーパントが活性層まで拡散して量子井戸層のA1組成比が変化し易くなって、発振波長が設定値からずれてしまい、波長制御が困難になるといった問題が生じていた。

【0010】本発明は、こうした従来技術の課題を解決するものであり、動作電圧の増大を伴わずに閾値電流を低減することが可能な半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

【0011】また、本発明の他の目的は、併せて発振波長ずれを防止することが可能な半導体レーザ素子を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザ素子は、複数の量子井戸層と、該複数の量子井戸層で挟まれた量子障壁層からなる多重量子井戸構造の活性層を挟んで、第1ガイド層及び第2ガイド層が設けられた半導体レーザ素子であって、該第1ガイド層及び該第2ガイド層を該量子井戸層に隣接させると共に該第1ガイド層及び該第2ガイド層の禁制帯幅を該量子井戸層の禁制帯幅より大きくし、且つ、該第1ガイド層及び該第2ガイド層の少なくとも一方の禁制帯幅を該量子障壁層の禁制帯幅よりも小さくしてなり、そのことにより上記目的が達成される。

【0013】好ましくは、前記第1ガイド層及び前記第2ガイド層を挟むように第1導電型の第1クラッド層と第2導電型の第2クラッド層が設けられ、該第1クラッド層

$$E_{\lambda} + 100 \text{ meV} \leq E_g \leq E_b - 50 \text{ meV} \cdots (2)$$

を満たす構成とする。

【0019】以下に、本発明の作用について説明する。

【0020】上記構成において、ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくすることは、ガイド層の屈折率を量子障壁層の屈折率より大きく設定することに相当する。従って、MQW活性層の量子井戸層への光の閉じ込め率が增大し、閾値電流が低減する。しかも、上記従来例のように閾値電流の低減のためにガイド層の層厚を厚くする必要もないので、素子抵抗の増大に伴う動作電圧の増大も抑制される。

【0021】また、ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくすることは、例えば、A1系半導体層の場合は、ガイド層のA1組成比を量子障壁層のA1組成比より小さく設定することにより、ガイド層の非発光再結合準位の数

\*ド層と該第2クラッド層との間に前記活性層のレーザ発振光のエネルギーと略等しい発光エネルギーを有する可飽和吸収層を設ける構成とする。

【0014】また、好ましくは、前記第1ガイド層及び前記第2ガイド層を挟むように第1導電型の第1クラッド層と第2導電型の第2クラッド層が設けられ、該第2クラッド層の外側であって該第1クラッド層と反対側の位置に第2導電型の第3クラッド層が設けられ、該第1クラッド層と該第3クラッド層との間に前記活性層のレーザ発振光のエネルギーと略等しい発光エネルギーを有する可飽和吸収層を設ける構成とする。

【0015】また、好ましくは、前記第1ガイド層及び前記第2ガイド層を挟むように第1導電型の第1クラッド層と第2導電型の第2クラッド層が設けられ、該第2クラッド層の外側であって該第1クラッド層と反対側の位置に第2導電型の第3クラッド層がストライプ状に形成され、ストライプ内部の活性層に閉じ込められた光の屈折率 $n_a$ とストライプ外部の活性層に閉じ込められた光の屈折率 $n_b$ との差 $\Delta n$ が下記(1)式の条件

$$2 \times 10^{-3} \leq \Delta n \leq 7 \times 10^{-3} \cdots (1)$$

を満たす構成とする。

【0016】また、好ましくは、前記第2導電型の第2クラッド層がp型クラッド層であり、前記第2ガイド層が該p型クラッド層側に位置し、該第2ガイド層の禁制帯幅を前記量子障壁層の禁制帯幅よりも小さくした構成とする。

【0017】また、好ましくは、前記第1ガイド層又は前記第2ガイド層の禁制帯幅の内、小さい方の禁制帯幅を前記活性層のレーザ発振光のエネルギーに相当する禁制帯幅より大きくした構成とする。

【0018】また、好ましくは、前記第1ガイド層又は前記第2ガイド層の禁制帯幅の内、小さい方の禁制帯幅を $E_g$ 、前記量子障壁層の禁制帯幅を $E_b$ 、前記活性層のレーザ発振光のエネルギーに相当する禁制帯幅を $E_{\lambda}$ とした場合に、 $E_g$ 、 $E_b$ 及び $E_{\lambda}$ が下記(2)式の条件

\*組成比より小さく設定することに相当する。このため、クラッド層からガイド層へのドーパント拡散が抑制される。従って、MQW活性層へのドーパント拡散が抑制されるので、MQW活性層の量子井戸層のA1組成比の変化が抑制され発振波長ずれが防止される。

【0022】また、ガイド層の禁制帯幅を制御することは屈折率を制御することに相当する。従って、2つのガイド層の屈折率をそれぞれ適当な値に設定して、垂直放射角を調整することが可能となる。

【0023】さらに、ガイド層のA1組成比を量子障壁層のA1組成比より小さく設定することにより、ガイド層の非発光再結合準位の数が増加する。このため、量子井戸層からガイド層に漏れだしたキャリアに対して、非

5

発光再結合が抑制される。その結果、キャリアが発光に有効に利用され、閾値電流の低減が可能となる。

【0024】加えて、MQW活性層のレーザ発振光の禁制帯幅と略等しい発光エネルギーの禁制帯幅を有する可飽和吸収層を、2つのクラッド層の間、例えば、上記第1クラッド層と上記第2クラッド層の間又は上記第1クラッド層と上記第3クラッド層の間に設ける構成による場合には、可飽和吸収効果によりレーザ発振光がパルス状に発振する自励発振が起こる。自励発振状態ではレーザの縦モードがマルチモードになり、各縦モードのスペクトル線幅が広がる。このため、レーザのコヒーレンシーが低下して、戻り光による影響を受け難くなり、雑音が低減される。

【0025】尚、この可飽和吸収層を設ける構成による場合には、MQW活性層と可飽和吸収層の間のクラッド層のドーパントが可飽和吸収層で拡散が抑制され、MQW活性層側への拡散が増大することが考えられる。しかしながら、ガイド層のAl組成比を量子障壁層のAl組成比より小さく設定しているため、クラッド層からガイド層へのドーパント拡散が抑制される。従って、MQW活性層へのドーパント拡散が抑制されるので、MQW活性層の量子井戸層のAl組成比の変化が抑制され発振波長ずれが防止される。

【0026】さらに、ストライプ状の第3クラッド層を設け、上記屈折率差 $\Delta n$ を上記(1)式の範囲内で設定すると、ストライプ外部の活性層における可飽和吸収量が増大し、ストライプ内部に光を閉じ込めたまま自励発振が起きる。その結果、ストライプ外部の可飽和吸収効果による波面の影響を受け難くなって、活性層に水平方向の放射光のスポット位置のずれが小さくなる。即ち、非点隔差が低減し、光学特性が改善する。

【0027】また、クラッド層の種類によっては、例えば、AlGaInP系クラッド層では、特にAlGaAs系クラッド層に比べてp型クラッド層のドーパントがより拡散しやすい傾向にある。従って、このようなクラッド層にあつては、p型クラッド層側の第2ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくすることにより、ドーパントの活性層への拡散が抑制され、上記の波長ずれが一層効果的に防止される。

【0028】また、2つのガイド層の内、禁制帯幅の小さい方のガイド層の禁制帯幅を活性層のレーザ発振光のエネルギーに相当する禁制帯幅より大きく設定すると、図3に示すように閾値電流を一層効果的に低減することが可能となる。

【0029】特に、2つのガイド層の内、禁制帯幅の小さい方のガイド層の禁制帯幅 $E_g$ を上記(2)式の関係を満たすように設定すると、図3に示すように閾値電流をより一層効果的に低減することが可能となる。

【0030】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面

6

に基づいて具体的に説明する。

【0031】(実施形態1)図1及び図2は本発明の半導体レーザ素子の実施形態1を示す。

【0032】図1に示すように、この半導体レーザ素子は、n-GaAs基板101上に、層厚0.5 $\mu$ mのn-GaAsバッファ層102、層厚1.5 $\mu$ mのn-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第1クラッド層103、層厚15nmのAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As第1ガイド層104、ノンドープMQW活性層105、層厚15nmのAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As第2ガイド層106、層厚0.2 $\mu$ mのp-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第2クラッド層107、層厚0.003 $\mu$ mのp-GaAsエッチングストップ層108、層厚1.2 $\mu$ mのp-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第3クラッド層109及び層厚0.8 $\mu$ mのp-GaAsキャップ層110を有機金属気相成長法(MOCVD法)により順次積層した構造を有する。

【0033】ここで、MQW活性層105は、図2に示すように層厚8nmのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As量子井戸層120と、層厚5nmのAl<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As量子障壁層121とからなり、この量子井戸層3層と量子障壁層2層による交互の繰り返しにより構成されている。尚、各半導体層の禁制帯幅はAl組成比によって決まる。

【0034】尚、p-GaAsエッチングストップ層108の層厚は0.003 $\mu$ mと非常に薄いために、エッチングストップ層は光の閉じ込め作用又は内部の光吸収に影響を及ぼさない。また、エッチングストップ層は次に述べるリッジストライプをエッチングにより制御よく形成するのに有用である。但し、エッチングストップ層がない場合にも、リッジストライプ形成に対して時間でエッチングを制御することは可能である。

【0035】次に、上記の積層体の表面にフォトリソトからなるストライプマスクを形成し、選択エッチングによりp-GaAsエッチングストップ層108の表面でエッチングを停止させて、底部のストライプ幅2.2 $\mu$ mのリッジストライプ111を形成する。

【0036】リッジストライプ111の両側を埋め込むように、層厚0.6 $\mu$ mのn-Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As第1電流閉じ込め層112、層厚0.3 $\mu$ mのn-GaAs第2電流閉じ込め層113及び層厚0.3 $\mu$ mのp-GaAs平坦化層114をMOCVD法により順次成長させる。

【0037】次に、p-GaAsキャップ層110及びp-GaAs平坦化層114の表面を覆うように、層厚3 $\mu$ mのp-GaAsコンタクト層115をMOCVDの法により成長させる。n-GaAs基板101表面及びp-GaAsコンタクト層115表面にそれぞれn型電極116及びp型電極117を形成する。劈開法により共振器長を375 $\mu$ mに調整し、共振器端面の光出射側の端面反射率が10%、後側の端面反射率が75%となるように、各端面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜とSi膜を形成する。

10

20

30

40

50

【0038】本実施形態1の半導体レーザ素子において、n型電極116とp型電極117の間に順方向電圧を印加した場合、発振波長 $0.78\mu\text{m}$ 、閾値電流 $15\text{mA}$ 、電流-光出力特性のスロープ効率 $1.0\text{W/A}$ 、光出力 $35\text{mW}$ における動作電流 $50\text{mA}$ 、動作電圧 $1.8\text{V}$ が得られた。

【0039】これに対して、従来例の第1ガイド層704と第2ガイド層706の禁制帯幅を量子障壁層711の禁制帯幅に等しくした場合（従来形態1）、即ち、第1ガイド層704と第2ガイド層706のA1組成比を

【0040】このように、本実施形態1の半導体レーザ素子では、動作電圧の増大を伴わずに閾値電流を $25\text{mA}$ から $15\text{mA}$ まで低減することができた。その結果を表1に示す。

【0041】

【表1】

	本実施形態	従来形態1
閾値電流	$15\text{mA}$	$25\text{mA}$
動作電流	$1.8\text{V}$	$1.8\text{V}$

【0042】また、第1ガイド層704及び第2ガイド層706の層厚を $50\text{nm}$ まで厚く設定した場合（従来形態2）には、閾値電流を本実施形態と同じ $15\text{mA}$ まで低減することができる。しかし、その場合にはガイド層704、706の層厚の増大による素子抵抗の増大のために、動作電圧は $2.1\text{V}$ に増大するという問題が発生する。その結果を表2に示す。

【0043】

【表2】

	本実施形態	従来形態2
閾値電流	$15\text{mA}$	$15\text{mA}$
動作電流	$1.8\text{V}$	$2.1\text{V}$

【0044】本実施形態1では、発振波長の設定値 $0.78\mu\text{m}$ に対して、作製した半導体レーザ素子の発振波長も $0.78\mu\text{m}$ となり、発振波長の制御ができる。これに対して、上記従来形態1の場合には、発振波長の設定値 $0.78\mu\text{m}$ に対して、発振波長が $0.775\mu\text{m}$ まで波長ずれが起り、発振波長の制御が困難となる。

【0045】本実施形態1の半導体レーザ素子では、図2に示すように、第1ガイド層104及び第2ガイド層\*

$$E_{\lambda} + 100\text{meV} \leq E_g \leq E_b - 50\text{meV} \cdots (2)$$

このように、閾値電流はガイド層104、106の禁制帯幅に大きく依存する。ここで、 $E_g$ が $E_{\lambda} + 100\text{meV}$ より小さくなると閾値電流が増大するのは、MQW活性層105の量子井戸層120に注入されたキャリアが、第1ガイド層104及び第2ガイド層106に隣接する量子井戸層120から第1ガイド層104及び第2ガイド層106にキャリアが漏れだして、量子井戸層120内のキャリアの閉じ込め率が低下するために、発振

\*106を量子井戸層120に隣接させると共に第1ガイド層104及び第2ガイド層106の禁制帯幅を量子井戸層120の禁制帯幅より大きくし、且つ、第1ガイド層104及び第2ガイド層106の禁制帯幅を量子障壁層121の禁制帯幅よりも小さくしている。

【0046】ここで、第1ガイド層104及び第2ガイド層106の禁制帯幅を量子障壁層121の禁制帯幅よりも小さくすることは、ガイド層104、106のA1組成比を量子障壁層121のA1組成比より小さく設定することに相当する。このため、クラッド層103、107からガイド層104、106へのドーバント拡散が抑制される。従って、MQW活性層105へのドーバント拡散が抑制されるので、MQW活性層105の量子井戸層120のA1組成比の変化が抑制され発振波長ずれが防止される。

【0047】また、第1ガイド層104又は第2ガイド層106の禁制帯幅を制御することは屈折率を制御することに相当する。従って、2つのガイド層104、106の屈折率をそれぞれ適当な値に設定して、垂直放射角を調整することが可能となる。

【0048】さらに、ガイド層104、106のA1組成比を量子障壁層121のA1組成比より小さく設定することにより、ガイド層104、106の非発光再結合準位の数を低減できる。このため、量子井戸層120からガイド層104、106に漏れだしたキャリアに対して、非発光再結合を抑制できる。従って、キャリアを発光に有効に利用でき、閾値電流の低減が可能となる。

【0049】本実施形態1の半導体レーザ素子において、第1ガイド層104及び第2ガイド層106のA1組成比を変化させた場合、即ち、禁制帯幅を変化させた場合の閾値電流の変化を調べた。図3に、その結果をガイド層104、106の禁制帯幅と閾値電流との関係で示す。ここで、 $E_g$ は第1ガイド層104及び第2ガイド層106の禁制帯幅を、 $E_b$ は量子障壁層121の禁制帯幅を、 $E_{\lambda}$ はMQW活性層105のレーザ発振光のエネルギーに相当する禁制帯幅をそれぞれ表す。この結果から、 $E_g$ が $E_b$ より小さくなると閾値電流は減少し、 $E_g$ が $E_{\lambda}$ 以下では $E_g = E_b$ のときよりも逆に閾値電流は増大することがわかる。特に、 $E_g$ が下記

【0050】

※に必要なキャリアが増大して、閾値電流が増加するためである。

【0051】また、 $E_g$ が $E_b - 50\text{meV}$ より大きいときに閾値電流が増大するのは、 $E_g$ が $E_b - 50\text{meV}$ より大きいと第1ガイド層104及び第2ガイド層106の屈折率が低下するので、MQW活性層105への光の閉じ込め率が減少し、発振に多くの電流を必要とするためである。

【0052】(実施形態2)図4及び図5は、本発明の半導体レーザ素子の実施形態2を示す。

【0053】図4に示すように、この半導体レーザ素子は、 $n$ -GaAs基板201上に、層厚 $0.5\mu\text{m}$ の $n$ -GaAsバッファ層202、層厚 $1.5\mu\text{m}$ の $n$ -Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第1クラッド層203、層厚 $10\text{nm}$ のAl<sub>0.27</sub>Ga<sub>0.73</sub>As第1ガイド層204、ノンドープMQW活性層205、層厚 $10\text{nm}$ のAl<sub>0.27</sub>Ga<sub>0.73</sub>As第2ガイド層206、層厚 $0.2\mu\text{m}$ の $p$ -Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第2クラッド層207、層厚 $0.2\mu\text{m}$ の $p$ -Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asエッチングブロック層208、層厚 $0.003\mu\text{m}$ の $p$ -GaAsエッチングストップ層209、層厚 $1.2\mu\text{m}$ の $p$ -Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第3クラッド層210及び層厚 $0.8\mu\text{m}$ の $p$ -GaAsキャップ層211をMOCVD法により順次積層した構造を有する。

【0054】ここで、MQW活性層205は、図5に示すように層厚 $10\text{nm}$ のAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As量子井戸層220と、層厚 $5\text{nm}$ のAl<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As量子障壁層221とからなり、この量子井戸層3層と量子障壁層2層による交互の繰り返しにより構成されている。

【0055】次に、上記の積層体の表面にフォトリソトからなるストライプマスクを形成し、選択エッチングにより $p$ -GaAsエッチングストップ層209表面でエッチングを停止させて、底部のストライプ幅 $2.2\mu\text{m}$ のリッジストライプ212を形成する。

【0056】リッジストライプ212の両側を埋め込むように、層厚 $0.6\mu\text{m}$ の $n$ -Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As第1電流光閉じ込め層213、層厚 $0.3\mu\text{m}$ の $n$ -GaAs第2電流閉じ込め層214及び層厚 $0.3\mu\text{m}$ の $p$ -GaAs平坦化層215を順次MOCVD法により成長させる。

【0057】次に、 $p$ -GaAsキャップ層211及び $p$ -GaAs平坦化層215の表面を覆うように、層厚 $3\mu\text{m}$ の $p$ -GaAsコンタクト層216をMOCVD法により成長させる。 $n$ -GaAs基板201表面及び $p$ -GaAsコンタクト層216表面にそれぞれ $n$ 型電極217及び $p$ 型電極218を形成する。劈開法により共振器長を $375\mu\text{m}$ に調整し、共振器端面の光出射側の端面反射率が $12\%$ 、後側の端面反射率が $95\%$ となるように、各端面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜とSi膜を形成する。

【0058】本実施形態2の半導体レーザ素子において、 $n$ 型電極217と $p$ 型電極218の間に順方向電圧を印加した場合、発振波長 $0.78\mu\text{m}$ 、閾値電流 $30\text{mA}$ 、電流-光出力特性のスロープ効率 $0.75\text{W/A}$ 、光出力 $30\text{mW}$ における動作電流 $70\text{mA}$ 、動作電圧 $1.8\text{V}$ が得られた。

【0059】本実施形態2の半導体レーザ素子では、図5に示すように、第1ガイド層204及び第2ガイド層206を量子井戸層220に隣接させると共に第1ガイ

ド層204及び第2ガイド層206の禁制帯幅を量子井戸層220の禁制帯幅より大きくし、且つ、第1ガイド層204及び第2ガイド層206の禁制帯幅を量子障壁層221の禁制帯幅よりも小さくしている。また、第1クラッド層203と第3クラッド層210との間にMQW活性層205のレーザ発振光のエネルギーと略等しい発光エネルギーを有する $p$ -GaAsエッチングストップ層209を設けている。

【0060】ここで、層厚 $0.2\mu\text{m}$ の $p$ -Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asエッチングブロック層208に隣接する層厚 $0.003\mu\text{m}$ の $p$ -GaAsエッチングストップ層209の発光エネルギーを、MQW活性層205のレーザ発振光のエネルギーに略等しくしているため、このエッチングストップ層209が可飽和吸収層として機能する。このエッチングストップ層209の可飽和吸収効果により、レーザ発振光がパルス状に発振する自励発振が起こる。自励発振状態ではレーザの縦モードがマルチモードになり、各縦モードのスペクトル線幅が広がる。このため、レーザのコヒーレンシーが低下して、戻り光による影響を受け難くなり、雑音を低減させることができる。

【0061】本実施形態2では、発振波長の設定値 $0.78\mu\text{m}$ に対して、作製した半導体レーザ素子の発振波長も $0.78\mu\text{m}$ となり、発振波長の制御ができる。

【0062】これに対して、従来例の第1ガイド層704と第2ガイド層706の禁制帯幅を量子障壁層711の禁制帯幅に等しくした場合(従来形態1)、即ち、第1ガイド層704と第2ガイド層706のAl組成比を $0.35$ とした場合には、発振波長の設定値 $0.78\mu\text{m}$ に対して、発振波長が $0.77\mu\text{m}$ まで波長ずれが起こり、発振波長の制御が困難となる。

【0063】これは、本実施形態2では、可飽和吸収用に低Al組成比からなる $p$ -Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asエッチングブロック層208及び $p$ -GaAsエッチングストップ層209を $p$ 型第2クラッド層207に隣接して配置したために、 $p$ 型第2クラッド層207のドーパントがこれらの低Al組成比の層で拡散が抑制され、逆に反対側のMQW活性層205側への拡散が増大したことに起因する。

【0064】これに対し、上記従来形態1では、ガイド層704、706のAl組成比が量子障壁層711のAl組成比と同じになるために、 $p$ 型第2クラッド層707のドーパントがMQW活性層705の量子井戸層710まで拡散し易くなり、拡散により量子井戸層710のAl組成比の変化が生じて、発振波長が短波長側にシフトしてしまう。

【0065】このように、本実施形態2は波長ずれを防止するのに有効である。また、ドーパント拡散によるMQW活性層205の量子井戸層220のAl組成比の変化は、量子井戸層220の層厚、量子障壁層221の層

11

厚にも影響を及ぼす。このため、波長ずれ以外にも、電気的特性及び光学的特性においても設計値とのずれが生じる。本実施形態2によれば、このような問題を解決することも可能となる。

【0066】尚、上記の実施形態2では、可飽和吸収層として、 $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ エッチングブロック層208に隣接して $p\text{-GaAs}$ エッチングストップ層209を設ける例を示したが、それ以外に、 $p$ 型クラッド層中に、MQW活性層の量子単位と略等しい量子単位の単一量子井戸層を設ける形態、MQW活性層の量子単位と略等しい量子単位の多重量子井戸層を設ける形態及びMQW活性層の量子単位と略等しい禁制帯幅の20nmよりも厚いバルク型半導体層を設ける形態とすることも可能である。上記いずれの形態においても同様の効果が得られる。

【0067】さらに、上記の実施形態2では、 $p$ 型クラッド層中に可飽和吸収層を設ける形態を示しているが、それ以外に $n$ 型クラッド層中に可飽和吸収層を設ける形態とすることも可能である。即ち、可飽和吸収層は、MQW活性層を挟む $p$ 型クラッド層と $n$ 型クラッド層との間に適宜設ければ良い。

【0068】(実施形態3)図6は、本発明の半導体レーザ素子の実施形態3を示す。

【0069】図6に示すように、この半導体レーザ素子は、 $n\text{-GaAs}$ 基板301上に、 $n\text{-Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ バッファ層302、層厚1.5 $\mu\text{m}$ の $n\text{-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 第1クラッド層303、層厚35nmの $(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 第1ガイド層304、ノンドープMQW活性層305、層厚35nmの $(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 第2ガイド層306、層厚1.5 $\mu\text{m}$ の $p\text{-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 第2クラッド層307及び層厚0.3 $\mu\text{m}$ の $p\text{-Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ キャップ層308を分子線エピタキシャル成長法(MBE法)により順次積層した構造を有する。

【0070】ここで、MQW活性層305は、層厚8nmの $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 量子井戸層と、層厚5nmの $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 量子障壁層とからなり、この量子井戸層4層と量子障壁層3層による交互の繰り返しにより構成されている。

【0071】次に、上記の積層体の表面にフォトリソグラフィからなるストライプマスクを形成し、選択エッチングを行い、 $p\text{-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 第2クラッド層307の平坦部の残し厚さが0.3 $\mu\text{m}$ となるようにエッチングを停止させて、幅5 $\mu\text{m}$ のリッジストライプ309を形成する。

【0072】次に、リッジストライプ309の外側を埋め込むように、層厚1.2 $\mu\text{m}$ の $n\text{-GaAs}$ 電流光閉じ込め層310をMBE法により成長させる。

【0073】次に、 $n\text{-GaAs}$ 基板301表面及び $p$

12

$\text{-GaAs}$ キャップ層308表面にそれぞれ $n$ 型電極311及び $p$ 型電極312を形成する。劈開法により共振器長を500 $\mu\text{m}$ に調整し、共振器端面の光出射側端面の反射率が50%、後側の反射率が85%となるように、各端面に $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜と $\text{Si}$ 膜を形成する。

【0074】本実施形態3の半導体レーザ素子で、 $n$ 型電極311と $p$ 型電極312の間に順方向電圧を印加した場合、発振波長0.65 $\mu\text{m}$ 、閾値電流30mA、電流-光出力特性のスロープ効率0.6W/A、光出力3mWにおける動作電流35mA、動作電圧2Vが得られた。このように、本実施形態3では、動作電圧の増大を抑制して閾値電流を低減できる。

【0075】また、本実施形態3では、発振波長の設定値0.65 $\mu\text{m}$ に対して、作製した半導体レーザ素子の発振波長も0.65 $\mu\text{m}$ となり、発振波長の制御ができる。

【0076】これに対して、第1ガイド層704及び第2ガイド層706の禁制帯幅を量子障壁層711の禁制帯幅に等しくした場合(従来形態1)、即ち、第1ガイド層704及び第2ガイド層706のAl組成比を0.5とした場合には、発振波長の設定値0.65 $\mu\text{m}$ に対して、発振波長が0.64 $\mu\text{m}$ まで波長ずれが起こり、発振波長の制御が困難となる。これは、 $p$ 型クラッド層707のドーパントが拡散しやすい傾向にあるため、 $p$ 型クラッド層707のドーパントがMQW活性層705へ拡散し、量子井戸層710のAl組成比が変化するために波長ずれを起こすためである。

【0077】このように、クラッド層の種類によっては、例えば、 $\text{AlGaInP}$ 系クラッド層では、特に $\text{AlGaAs}$ 系クラッド層に比べて $p$ 型クラッド層のドーパントがより拡散しやすい傾向にある。従って、このようなクラッド層にあつては、 $p$ 型クラッド層側の第2ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくすることにより、ドーパントの活性層への拡散を抑制して、波長ずれを一層効果的に防止できる。

【0078】(実施形態4)図7は、本発明の半導体レーザ素子の実施形態4を示す。

【0079】図7に示すように、この半導体レーザ素子は、 $n\text{-GaAs}$ 基板401上に、層厚0.5 $\mu\text{m}$ の $n\text{-GaAs}$ バッファ層402、層厚1.2 $\mu\text{m}$ の $n\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第1クラッド層403、層厚0.2 $\mu\text{m}$ の $n\text{-Al}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{As}$ 第2クラッド層404、層厚5nmの $\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}$ 第1ガイド層405、ノンドープMQW活性層406、層厚5nmの $\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}$ 第2ガイド層407、層厚0.15 $\mu\text{m}$ の $p\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第2クラッド層408、層厚0.002 $\mu\text{m}$ の $p\text{-GaAs}$ エッチングストップ層409、層厚1.0 $\mu\text{m}$ の $p\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第3クラッド層410及び層厚0.8 $\mu\text{m}$ の $p\text{-GaAs}$ キャップ層411をMOCVD法により順次積層した構造



を有する。

【0080】ここで、MQW活性層406は、層厚10 nmの $\text{Al}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}$ 量子井戸層と、層厚5 nmの $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 量子障壁層とからなり、この量子井戸層8層と量子障壁層7層による交互の繰返しにより構成されている。

【0081】尚、n型第2クラッド層404は、垂直方向の放射角の制御用に用いられるものであり、本発明の効果には影響を及ぼさない。

【0082】次に、上記の積層体の表面にフォトリソトからなるストライプマスクを形成し、選択エッチングによりp-GaAsエッチングストップ層409表面でエッチングを停止させて、底部のストライプ幅2.2  $\mu\text{m}$ のリッジストライプ412を形成する。

【0083】リッジストライプ412の両側を埋め込むように、層厚0.6  $\mu\text{m}$ のn- $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ 第1電流閉じ込め層413、層厚0.3  $\mu\text{m}$ のn-GaAs第2電流閉じ込め層414及び層厚0.3  $\mu\text{m}$ のp-GaAs平坦化層415をMOCVD法により順次成長させる。

【0084】次に、p-GaAsキャップ層411及びp-GaAs平坦化層415の表面を覆うように、層厚3  $\mu\text{m}$ のp-GaAsコンタクト層416をMOCVD法により成長させる。n-GaAs基板401表面及びp-GaAsコンタクト層416表面にそれぞれn型電極417及びp型電極418を形成する。劈開法により共振器長を200  $\mu\text{m}$ に調整し、共振器端面の光出射側の端面反射率が30%、後側の端面反射率が75%となるように、各端面に $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜とSi膜を形成する。

【0085】本実施形態4の半導体レーザ素子において、n型電極417とp型電極418の間に順方向電圧を印加した場合、発振波長0.78  $\mu\text{m}$ 、閾値電流15 mA、電流-光出力スロープ効率0.75 W/A、光出力3 mWの動作電流19 mA、動作電圧1.8 Vが得られた。

【0086】本実施形態4の半導体レーザ素子では、ストライプ外部のMQW活性層での可飽和吸収効果を利用して、レーザ発振光がパルス状に発振する自励発振が起こる。自励発振状態ではレーザの縦モードがマルチモードになり、各縦モードのスペクトル線幅が広がる。このため、レーザのコヒーレンシーが低下して、戻り光による影響を受け難くなり、雑音を低減させることができる。

【0087】本実施形態4の半導体レーザ素子においては、活性層に水平方向と垂直方向の放射光の最小スポット位置の差、即ち、非点隔差は5  $\mu\text{m}$ となる。

【0088】これに対して、従来例の第1ガイド層704及び第2ガイド層706の禁制帯幅を量子障壁層711の禁制帯幅に等しくした場合（従来形態1）、即ち、第1ガイド層704及び第2ガイド層706のAl組成

比を0.35とした場合には、放射角の非点隔差は15  $\mu\text{m}$ に増大する。非点隔差が増大すると、放射光をレンズで集光するとき、集光スポットサイズの増大を生じ、光ディスク等のシステムで使用することが困難となる。

【0089】即ち、本実施形態4の半導体レーザ素子によれば、ガイド層405、407に隣接する量子井戸層のストライプ外部における可飽和吸収量を増大することができ、ストライプ内部に光を閉じ込めたまま自励発振を起こすことができる。その結果、ストライプ外部の可飽和吸収効果による波面の影響を受け難くなって、活性層に水平方向の放射光のスポット位置のずれが小さくなって、非点隔差が改善される。従って、放射光の非点隔差を低減して、光学特性を改善することが可能となる。

【0090】図8は、本実施形態4と従来形態1についての半導体レーザ素子の屈折率差 $\Delta n$ と非点隔差 $\Delta Z$ との関係を示す。ここで、屈折率差 $\Delta n$ は、ストライプ内部の活性層に閉じこめられた光の屈折率 $n_a$ と、ストライプ外部の活性層に閉じこめられた光の屈折率 $n_b$ との差を表す。この結果から屈折率差が非点隔差に依存することが認められ、しかも本実施形態4は従来形態1に比べ非点隔差 $\Delta Z$ が低く抑えられていることがわかる。

【0091】自励発振を起こすには、ストライプ外部に光を滲みださせるために、屈折率差 $\Delta n$ を $7 \times 10^{-3}$ 以下にする必要がある。非点隔差 $\Delta Z$ は屈折率差 $\Delta n$ を減少するにしたがい増大する傾向にある。本実施形態4の半導体レーザ素子で、非点隔差 $\Delta Z$ を10  $\mu\text{m}$ 以下にするには屈折率差 $\Delta n$ を $2 \times 10^{-3}$ 以上にする必要がある。そこで、本実施形態4では、屈折率差 $\Delta n$ を下記（1）式の条件を満たす範囲に設定することにより、非点隔差10  $\mu\text{m}$ 以下の良好な光学特性を有する自励発振型の低雑音半導体レーザ素子を構成している。

【0092】

$$2 \times 10^{-3} \leq \Delta n \leq 7 \times 10^{-3} \cdots (1)$$

これに対して、従来形態1では自励発振を起こすのに必要な屈折率差 $7 \times 10^{-3}$ 以下において、非点隔差 $\Delta Z$ は10  $\mu\text{m}$ より大きくなる。従って、従来形態1では非点隔差を低減して、自励発振を起こすことはできない。

【0093】（実施形態5）図9及び図10は、本発明の半導体レーザ素子の実施形態5を示す。

【0094】図9に示すように、この半導体レーザ素子は、n-GaAs基板501上に、層厚0.5  $\mu\text{m}$ のn-GaAsバッファ層502、層厚1.5  $\mu\text{m}$ のn- $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第1クラッド層503、層厚15 nmの $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第1ガイド層504、ノンドープMQW活性層505、層厚15 nmの $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 第2ガイド層506、層厚0.2  $\mu\text{m}$ のp- $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第2クラッド層507、層厚0.003  $\mu\text{m}$ のp-GaAs第1エッチングストップ層508、層厚0.01  $\mu\text{m}$ のp- $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 第2エッチングストップ層509、層厚1.0  $\mu\text{m}$ のn- $\text{Al}_{0.5}$

15

Ga<sub>0.5</sub>As電流光閉じ込め層510及び層厚0.8μmのn-GaAsキャップ層511をMOCVD法により順次積層した構造を有する。

【0095】ここで、MQW活性層505は、図10に示すように層厚8nmのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As量子井戸層520と、層厚5nmのAl<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As量子障壁層521からなり、この量子井戸層2層と量子障壁層1層による交互の繰り返しにより構成されている。

【0096】尚、p-GaAs第1エッチングストップ層508及びp-Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As第2エッチングストップ層509の各層厚は非常に薄いために、エッチングストップ層は光の閉じ込め作用又は内部の光吸収に影響を及ぼさない。

【0097】次に、上記積層体の表面にフォトリソトからなるストライプ窓を形成し、選択エッチングによりp-GaAs第1エッチングストップ層表面に到達する幅2.5μmのストライプ溝512を形成する。

【0098】次に、ストライプ溝512を埋め込むように、層厚1.5μmのp-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第3クラッド層513及び層厚2μmのp-GaAsコンタクト層514をMOCVD法により順次成長させる。

【0099】n-GaAs基板501表面及びp-GaAsコンタクト層514表面にそれぞれn型電極515及びp型電極516を形成する。劈開法により共振器長を3.75μmに調整し、共振器端面の光出射側の端面反射率が30%、後側の端面反射率が95%となるように、各端面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を形成する。

【0100】本実施形態5の半導体レーザ素子において、n型電極515とp型電極516の間に順方向電圧を印加した場合、発振波長0.78μm、閾値電流10mA、電流-光出力特性のスロープ効率0.75W/A、光出力3mWの動作電流14mA、動作電圧1.7Vが得られた。

【0101】本実施形態5の半導体レーザ素子では、図10に示すように、第1ガイド層504及び第2ガイド層506を量子井戸層520に隣接させると共に第1ガイド層504及び第2ガイド層506の禁制帯幅を量子井戸層520の禁制帯幅より大きくし、且つ、第1ガイド層504及び第2ガイド層506の禁制帯幅を量子障壁層521の禁制帯幅よりも小さくしている。さらに、第1ガイド層504と第2ガイド層506の禁制帯幅を異ならせている。

【0102】本実施形態5では、第1ガイド層504と第2ガイド層506の禁制帯幅が異なる、即ち、Al組成比が異なる。このとき、垂直方向の放射角度は25度である。これに対して、第1ガイド層504と第2ガイド層506の禁制帯幅を等しくした場合、即ち、Al組成比を共に0.25とした場合には、垂直方向の放射角度は30度になる。このように、両ガイド層504、506のAl組成比を適当な値に設定することによって、

16

レーザの放射光特性を制御することが可能となる。

【0103】(実施形態6)図11及び図12は、本発明の半導体レーザ素子の実施形態6を示す。

【0104】図11に示すように、この半導体レーザ素子は、サファイア基板601上に、層厚0.05μmのGa<sub>0.95</sub>Nバッファ層602、層厚3μmのn-GaN第1クラッド層603、層厚0.1μmのn-In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N第2クラッド層604、層厚0.5μmのn-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N第3クラッド層605、層厚20nmのノンドープIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N第1ガイド層606、ノンドープMQW活性層607、層厚20nmのノンドープIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N第2ガイド層608、層厚20nmのp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N第4クラッド層609、層厚0.1μmのp-GaN第5クラッド層610、層厚0.5μmのp-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N第6クラッド層611及び層厚0.2μmのp-GaNコンタクト層612をMOCVD法により順次積層した構造を有する。

【0105】ここで、MQW活性層607は、図12に示すように層厚4nmのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層620と、層厚8nmのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子障壁層621とからなり、この量子井戸層3層と量子障壁層2層による交互の繰り返しにより構成されている。

【0106】次に、上記積層体の表面にストライプ状のレジストマスクを形成し、ドライエッチングにより幅2μmのリッジストライプ630を形成し、n-GaN第1クラッド層603及びp-GaNコンタクト層612にそれぞれn型電極640及びp型電極641を形成する。劈開法により共振器長は700μm、共振器端面の光出射側の端面反射率と後側の端面反射率30%となるように誘電体膜のコーティングにより調整する。

【0107】本実施形態6の半導体レーザ素子において、n型電極640とp型電極641の間に順方向電圧を印加した場合、発振波長0.41μm、閾値電流100mA、電流-光出力特性のスロープ効率0.2W/A、閾値電流時の動作電圧6Vが得られた。このように、本実施形態6では、動作電圧の増大を抑制して閾値電流を低減できる。

【0108】本実施形態6の半導体レーザ素子では、図12に示すように、第1ガイド層606及び第2ガイド層608を量子井戸層620に隣接させると共に第1ガイド層606及び第2ガイド層608の禁制帯幅を量子井戸層620の禁制帯幅より大きくし、且つ、第1ガイド層606及び第2ガイド層608の禁制帯幅を量子障壁層621の禁制帯幅よりも小さくしている。さらに、ガイド層606、608の禁制帯幅を量子井戸層620と量子障壁層621の中間に設定している。

【0109】ここで、各半導体層の組成比と禁制帯幅との関係については、各半導体層のIn組成比が増大すると、禁制帯幅は減少し屈折率は増大する関係にある。また、各半導体層のAl組成比が増大すると、禁制帯幅は

増大し屈折率は減少する関係にある。

【0110】本実施形態6では、ガイド層606、608にノンドープのInGa<sub>N</sub>層を用いているので、n-第3クラッド層605及びp-第4クラッド層609からのドーパントがMQW活性層607に拡散するのが、ガイド層606、608によって抑制されるので、組成比の変動にともなう発振波長ずれを防止することができる。

【0111】さらに、ガイド層606、608にInGa<sub>N</sub>を適用し、その禁制帯幅を量子井戸層620と量子障壁層621の中間に設定しているため、ガイド層606、608の屈折率を増大させることができる。このため、動作電圧の増大を抑制しつつMQW活性層607への光の閉じ込め率を増大させ、閾値電流を低減することが可能となる。

【0112】これに対して、従来例では、ガイド層704、706にn型又はp型のGa<sub>N</sub>層を用いるために、ドーパントがMQW活性層705に拡散して発振波長ずれを引き起こすという問題が生じる。それを防止するために、ガイド層704、706をノンドープにすると、動作電圧が増大するという別の問題が生じる。

【0113】尚、上記の各実施形態では、第1ガイド層及び第2ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくした場合について述べたが、第1ガイド層又は第2ガイド層のいずれか一方の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくすることも可能である。

【0114】また、本発明は、上述の各実施形態で示した層厚、A1、In等の組成比、キャリア濃度に限定されるものではなく、それ以外の条件とすることも可能である。

【0115】また、成長法については、MOCVD法及びMBE法以外に、LPE法、ガスソースMBE法、ALE（原子線エピタキシー）法を適用することも可能である。

【0116】

【発明の効果】上記の本発明の半導体レーザ素子によれば、ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくし、即ち、ガイド層の屈折率を量子障壁層の屈折率より大きく設定しているため、MQW活性層の量子井戸層への光の閉じ込め率を増大することができ、閾値電流を低減できる。加えて、従来例のようにガイド層の層厚を厚くする必要もないので、素子抵抗の増大に伴う動作電圧の増大も抑制することができ、閾値電流を低減できる。

【0117】また、ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくし、例えば、A1系半導体層の場合は、ガイド層のA1組成比を量子障壁層のA1組成比より小さく設定しているため、クラッド層からガイド層へのドーパント拡散を抑制することができる。その結果、MQW活性層へのドーパント拡散を抑制することができ

るので、MQW活性層の量子井戸層のA1組成比の変化を抑制することができ発振波長ずれを防止できる。

【0118】また、ガイド層の禁制帯幅を制御することは屈折率を制御することに相当し、2つのガイド層の屈折率をそれぞれ適当な値に設定して、垂直放射角を調整することができる。

【0119】さらに、ガイド層のA1組成比を量子障壁層のA1組成比より小さく設定することにより、ガイド層の非発光再結合準位の数低減することができるので、量子井戸層からガイド層に漏れだしたキャリアに対して、非発光再結合を抑制することができる。その結果、キャリアを発光に有効に利用でき、閾値電流を低減できる。

【0120】また、特に請求項2及び請求項3記載の半導体レーザ素子によれば、MQW活性層のレーザ発光の禁制帯幅と略等しい発光エネルギーの禁制帯幅を有する可飽和吸収層を、2つのクラッド層の間に設ける構成をとるので、可飽和吸収効果によりレーザ発光がパルス状に発振する自励発振が起こる。自励発振状態ではレーザの縦モードがマルチモードになり、各縦モードのスペクトル線幅が広がる。このため、レーザのコヒーレンシーが低下して、戻り光による影響を受け難くなり、雑音を低減することができる。

【0121】尚、この可飽和吸収層を設ける構成による場合には、MQW活性層と可飽和吸収層の間のクラッド層のドーパントが可飽和吸収層で拡散が抑制され、MQW活性層側への拡散が増大することが考えられるが、ガイド層のA1組成比を量子障壁層のA1組成比より小さく設定しているため、クラッド層からガイド層へのドーパント拡散を抑制することができる。従って、MQW活性層へのドーパント拡散を抑制することができるので、MQW活性層の量子井戸層のA1組成比の変化を抑制して発振波長ずれを防止することができる。

【0122】また、特に請求項4記載の半導体レーザ素子によれば、ストライプ状の第3クラッド層を設け、上記屈折率差 $\Delta n$ を上記(1)式の範囲内で設定するので、ストライプ外部の活性層における可飽和吸収量を増大させて、ストライプ内部に光を閉じ込めたまま自励発振を起こすことができる。その結果、ストライプ外部の可飽和吸収効果による波面の影響を受け難くなって、活性層に水平方向の放射光のスポット位置のずれを小さくでき、即ち、非点隔差を低減し、光学特性を改善できる。

【0123】また、特に請求項5記載の半導体レーザ素子によれば、p型クラッド層側の第2ガイド層の禁制帯幅を量子障壁層の禁制帯幅より小さくするので、例えば、A1GaInP系クラッド層のようにp型クラッド層のドーパントが拡散しやすい傾向にあるクラッド層に対し、ドーパントの活性層への拡散を抑制して波長ずれを一層効果的に防止できる。

【0124】また、特に請求項6記載の半導体レーザ素子によれば、2つのガイド層の禁制帯幅の内小さい方のガイド層の禁制帯幅を、活性層のレーザ発振光のエネルギーに相当する禁制帯幅より大きく設定するので、図3に示すように閾値電流を一層効果的に低減できる。

【0125】また、特に請求項7記載の半導体レーザ素子によれば、2つのガイド層の禁制帯幅の内小さい方のガイド層の禁制帯幅 $E_g$ を上記(2)式の関係を満たすように設定するので、図3に示すように閾値電流を一層効果的に低減できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1の半導体レーザ素子の断面構造を示す図である。

【図2】 本発明の実施形態1の活性層付近のエネルギーバンドダイアグラムである。

【図3】 本発明のガイド層の禁制帯幅と閾値電流との関係を示す図である。

【図4】 本発明の実施形態2の半導体レーザ素子の断面構造を示す図である。

【図5】 本発明の実施形態2の活性層付近のエネルギーバンドダイアグラムである。

【図6】 本発明の実施形態3の半導体レーザ素子の断面構造を示す図である。

【図7】 本発明の実施形態4の半導体レーザ素子の断面構造を示す図である。

【図8】 半導体レーザ素子の屈折率差と非点隔差との関係を示す図である。

【図9】 本発明の実施形態5の半導体レーザ素子の断面構造を示す図である。

【図10】 本発明の実施形態5の活性層付近のエネルギーバンドダイアグラムである。

【図11】 本発明の実施形態6の半導体レーザ素子の断面構造を示す図である。

【図12】 本発明の実施形態6の活性層付近のエネルギーバンドダイアグラムである。

【図13】 従来の半導体レーザ素子の断面構造を示す図である。

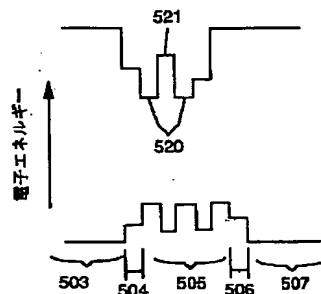
【図14】 従来の活性層付近のエネルギーバンドダイ

アグラムである。

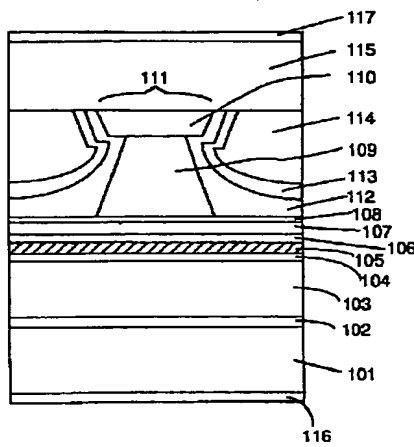
#### 【符号の説明】

101, 201, 301, 401, 501, 601, 701 n-GaAs基板  
102, 202, 302, 402, 502, 602, 702 n-GaAsバッファ層  
103, 203, 303, 403, 503, 603, 703 n-第1クラッド層  
404, 604 n-第2クラッド層  
10 605 n-第3クラッド層  
104, 204, 304, 405, 504, 606, 704 第1ガイド層  
105, 205, 305, 406, 505, 607, 705 MQW活性層  
120, 220, 520, 620, 710 量子井戸層  
121, 221, 521, 621, 711 量子障壁層  
106, 206, 306, 407, 506, 608, 706 第2ガイド層  
107, 207, 307, 507, 707 p-第2クラッド層  
408 p-第3クラッド層  
609 p-第4クラッド層  
610 p-第5クラッド層  
611 p-第6クラッド層  
208 p-エッチングブロック層  
108, 209, 409, 508, 509 p-エッチングストップ層  
109, 210, 410, 513 p-第3クラッド層  
110, 211, 308, 411 p-キャップ層  
111, 212, 309, 412, 512 ストライプ  
112, 213, 310, 413, 510 n-第1電流閉じ込め層  
113, 214, 414 n-第2電流閉じ込め層  
114, 215, 415 p-平坦化層  
115, 216, 416, 514, 612, 708 p-コンタクト層  
116, 117, 217, 218, 311, 312, 417, 418, 515, 516, 640, 641 電極

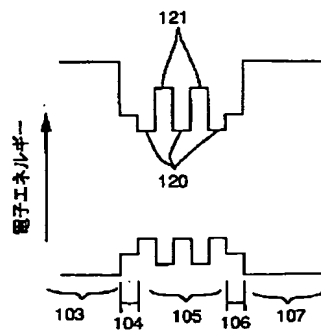
【図10】



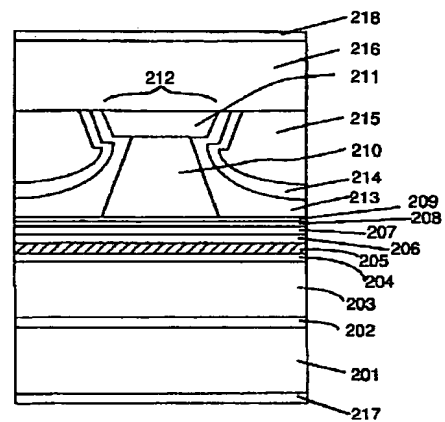
【図1】



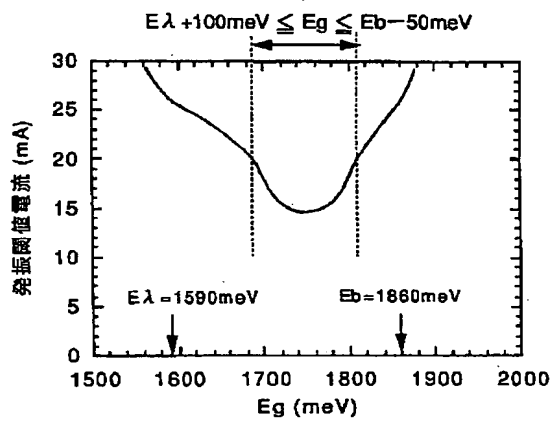
【図2】



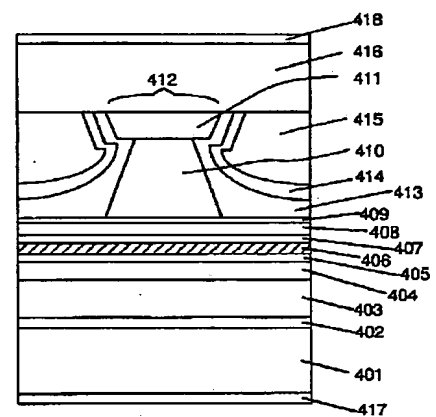
【図4】



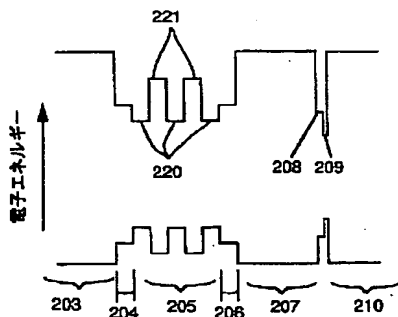
【図3】



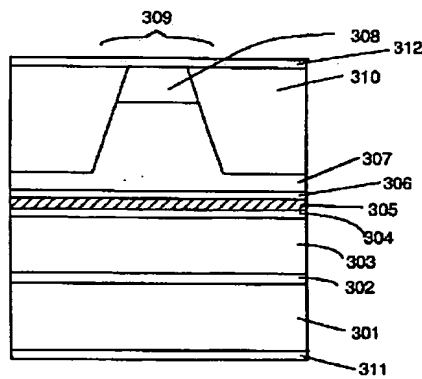
【図7】



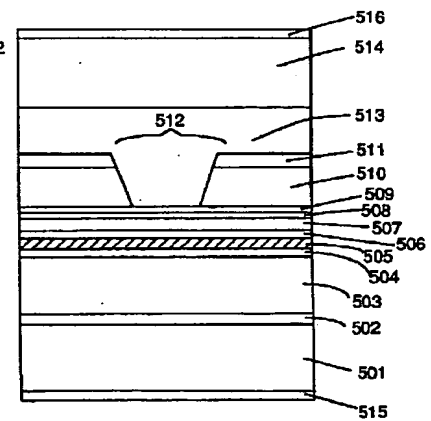
【図5】



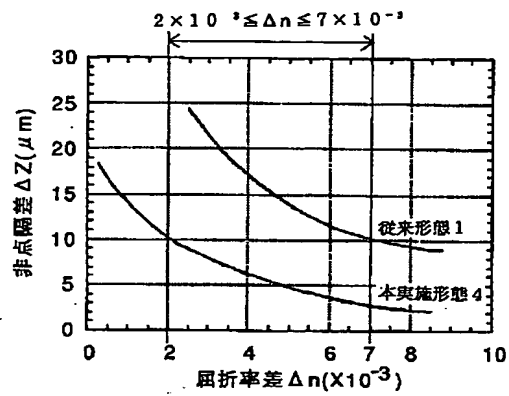
【図6】



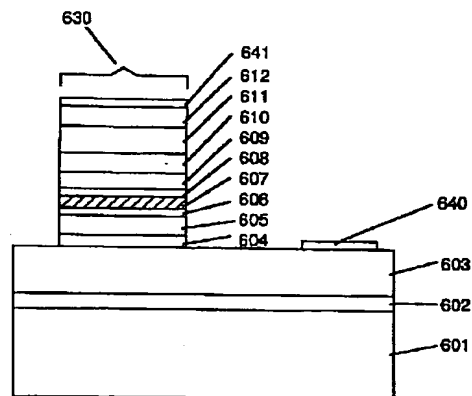
【図9】



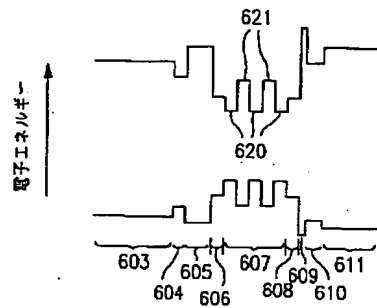
【図8】



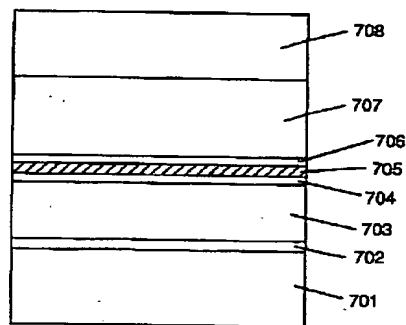
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

